

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許出願公告番号

特公平8-15097

(24) (44) 公告日 平成8年(1996)2月14日

(51) Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 M 14/00	P			
G 0 3 F 7/029				
H 0 1 G 9/00				
9/20				
			H 0 1 G 9/20	
				請求項の数11(全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平3-507923	(71) 出願人	999999999
(86) (22) 出願日	平成3年(1991)4月17日		エコール・ポリテクニク・フエデラー ル・ドウ・ローザンヌ スイス国、ツエーハー—1015・ローザン ヌ、エキユブレ (番地なし)
(65) 公表番号	特表平5-504023	(72) 発明者	グレッツェル, ミヒヤエル
(43) 公表日	平成5年(1993)6月24日		スイス国、ツエー・ハー—1015・サン・シ ユルピス、シユマン・ドユ・マルキザ・ 7・アー
(86) 国際出願番号	PCT/EP91/00734	(72) 発明者	ナゼールツディン, モハンマド・カジャ スイス国、ツエー・ハー—1022・シヤバン ヌ、アブニユ・ドユ・テイル・フエデラ ル・81
(87) 国際公開番号	WO91/16719	(74) 代理人	弁理士 川口 義雄 (外2名)
(87) 国際公開日	平成3年(1991)10月31日		
(31) 優先権主張番号	9008512.7		
(32) 優先日	1990年4月17日		
(33) 優先権主張国	イギリス (GB)		
(31) 優先権主張番号	9024831.1		
(32) 優先日	1990年11月15日		
(33) 優先権主張国	イギリス (GB)		
		審査官	酒井 美知子
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光電池

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 i) ガラスプレートまたは透明ポリマーシート上に堆積された光透過性導電層と、  
 ii) 前記光透過性導電層に付与された少なくとも1つの多孔質で高表面積の二酸化チタン層と、  
 iii) 少なくとも最も外側の二酸化チタン層に与えられたドーパントであって、二価金属イオン、三価金属イオン及びホウ素から選択されているドーパントと、  
 iv) 前記ドーパント含有TiO<sub>2</sub>層に塗布された光増感剤であって、結合基によってTiO<sub>2</sub>層に付着しており、前記結合基が、カルボキシレート基、シアノ基、ホスフェート基、並びに、オキシム、ジオキシム、ヒドロキシキノリン、サリチレート及び $\alpha$ -ケトエノレートから選択された $\pi$ 伝導性を有するキレート化基から選択されている光増感剤

2

とから成る、第1電極を含む太陽光応答性光電池。

【請求項2】 i) 第2電極であって、前記第1電極及び第2電極のうちの少なくとも一方が透明であり且つ60%以上の可視光透過率を有する2つの電極であって、これら電極がその間に中空部を規定するように配置されており、前記中空部内にはレドックス系を含む電解液が位置しており、  
 ii) 該電池によって生成された電流の通行を可能とする手段

とを更に含む請求項1に記載の太陽光応答性光電池。

【請求項3】 i) 遷移金属錯体光感増剤で被覆された複層ラミネートである、厚さ0.1~50ミクロンを有する二酸化チタン膜で被覆された第1の導電性プレートであって、TiO<sub>2</sub>膜の少なくとも最も外側の層が請求項1に記載のドーパントでドーピングされているプレートと、

ii) 薄い電解液層によって前記第1のプレートから分離されている第2の伝導性プレートとを含む光電池であって、少なくとも一方のプレートの可視光透過率が60%以上である光電池。

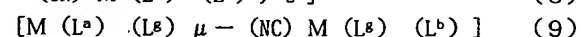
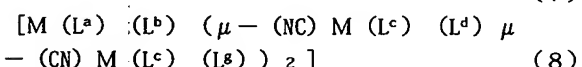
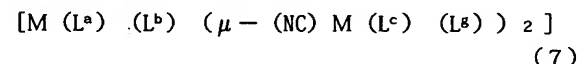
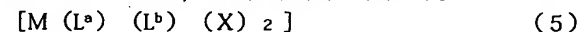
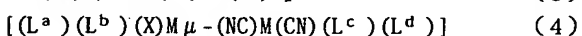
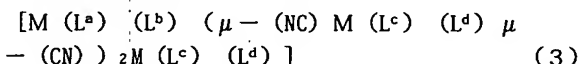
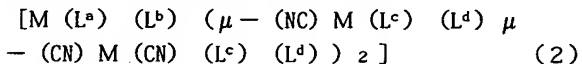
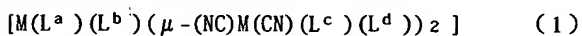
【請求項4】前記結合基が、カルボキシレート基及びシアノ基から選択されている請求項1から3のいずれか一項に記載の光電池。

【請求項5】前記光増感剤が、ルテニウム、オスミウムもしくは鉄錯体、または1つの超分子錯対中の2つもしくは3つの遷移金属の組合せである請求項1から4のいずれか一項に記載の光電池。

【請求項6】前記光増感剤が、配位子が二座もしくは三座または全座ポリピリジル化合物である、未置換のまたは置換された遷移金属錯体である請求項1から5のいずれか一項に記載の光電池。

【請求項7】前記光増感剤がルテニウムまたはオスミウム錯体から選択されている請求項5に記載の光電池。

【請求項8】前記光増感剤が、化合物：



〔式中、各Mは独立に、ルテニウム、オスミウムまたは鉄から選択され、 $\mu-(CN)$ または $\mu-(NC)$ は、シアノ基が2つの金属原子を架橋していることを示しており、 $L^a$ 、 $L^b$ 、 $L^c$ 及び $L^d$ の各々は独立に、未置換のまたは1つもしくは2つのCOOH基で置換された2,2'-ビピリジル； $C_{1-16}$  アルキル、 $C_{1-16}$  アルコキシ及びジフェニルから選択される1つまたは2つの基で置換された2,2'-ビピリジル；未置換のまたは1つもしくは2つのカルボキシ基によって置換された2,2'-ビキノリン；未置換の、或いは、1つもしくは2つのカルボキシ基及び／または1つもしくは2つのヒドロキシ基及び／または1つもしくは2つのジオキシム基で置換されたフェナントロリン；バソフェナントロリンジスルホン酸；ジアザーヒドロキシーカルボキシトリフェニレン；カルボキシピリジン；フェニルピリジン；2,2'-ビス（ジフェニルホスフィノ）-1,1'-ビナフタレン；（ピリジルアノ）レゾルシノール；ビス（2-ピリジル） $C_{1-4}$  アルカン；テトラ $C_{1-4}$  アルキルエチレンジアミン；及びジ- $C_{1-4}$  ア

ルキルグリオキシムから選択され、

$L^g$ は、（未置換の、または未置換もしくはCOOHで置換されたフェニル基で置換された）テルピリジル及びジカルボキシ-ピリジン（好ましくは2,6-ジカルボキシ-ピリジン）から選択され、

各Xは独立に、ハロ、 $H_2O$ 、CN、アミン（第一級または第二級アルキルアミン）及び／またはピリジンである〕から選択されている請求項1から7のいずれか一項に記載の光電池。

10 【請求項9】ガラス支持体上の透明な $TiO_2$ 層からなる、請求項2に記載の光電池における電極。

【請求項10】1又はそれ以上の、請求項8に記載の式（1）から（10）で示される化合物からなる、請求項1に記載の光電池における光増感剤。

【請求項11】二酸化チタン膜の粘度が50～200である、請求項1から3のいずれか一項に記載の光電池。

【発明の詳細な説明】

本発明は新規の遷移金属染料及びそれらの光電池における使用に係わる。かかる染料は、二酸化チタン膜を被覆して可視光から電気エネルギーへの変換においてデバイスを有効にすることができる。

二酸化チタン膜（層）は半導体特性が良く知られており、この特性によって光電池に有用となっている。しかしながら二酸化チタンは大きなバンドギャップを有しており、従ってスペクトルの可視領域の光を吸収しない。太陽光利用においては、太陽が光を発する波長域、即ち300～2000nmの光を集める光増感剤で二酸化チタン膜を被覆することが重要である。熱力学的考察からは、820nm以下の波長を有する全ての放射光子が光増感剤によって吸収されるときに、最も効率的に太陽エネルギーから電気への変換が行われることが判っている。従って太陽光変換に最適な染料は800nm近傍に吸収開始域（absorption onset）を有し、吸収スペクトルは、可視領域全体をカバーするようなものであるべきである。

効率的な太陽光エネルギー変換のための第2の必要条件是、光を吸収し従ってエネルギーが豊富な状態を獲得した後の染料が、電子を二酸化チタン膜の伝導帯中に実用的な単位量子効率で放出し得ることである。このためには、染料が二酸化チタンの表面に適当な結合基（interlocking group）を介して結合することが必要である。結合基の機能は、染料の発色基と半導体の伝導帯との間に電気的結合を提供することである。このタイプの電気的結合は、励起状態の染料と伝導帯との間の電子の移動を容易にするために必要とされる。適当な結合基としては、カルボキシレート基、シアノ基、ホスフェート基、または、オキシム、ジオキシム、ヒドロキシキノリン、サリチレート及び $\alpha$ ケトエノレートのような $\pi$ 伝導性を有するキレート化基を挙げることができる。光電池が作動されているときには、染料によって光注入された電子は外部回路中に電流を生成する。

本発明によれば、

i) ガラスプレートまたは透明ポリマーシート上に堆積された光透過性導電層と、

ii) 前記光透過性導電層に付与された少なくとも1つの多孔質で高表面積の二酸化チタン層と、

iii) 少なくとも最も外側の二酸化チタン層に与えられたドーパントであって、二価金属イオン、三価金属イオン及びホウ素から選択されているドーパントと、

iv) 前記ドーパント含有TiO<sub>2</sub>層に塗布された光増感剤であって、結合基によってTiO<sub>2</sub>層に付着しており、前記結合基が、カルボキシレート基、シアノ基、ホスフェート基、並びに、オキシム、ジオキシム、ヒドロキシキノリン、サリチレート及び $\alpha$ -ケトエノレートから選択された $\pi$ 伝導性を有するキレート化基から選択されている光増感剤

とから成る、第1電極を含む太陽光応答性光電池、及び

i) 遷移金属錯体光増感剤で被覆された複層ラミネートである、厚さ0.1~50ミクロンを有する二酸化チタン膜で被覆された第1の導電性プレートであって、TiO<sub>2</sub>膜の少なくとも最も外側の層が請求項1に記載のドーパント

でドーピングされているプレートと、  
ii) 薄い電解液層によって前記第1のプレートから分離されている第2の伝導性プレートとを含む光電池であって、少なくとも一方のプレートの可視光透過率が60%以上である光電池が提供される。

本発明の目的において、ドーパントは二酸化チタンの表面、即ち二酸化チタン/電解液の界面またはその極めて近傍に閉じ込められることが不可欠である。これを行なう好ましい方法は、最も外側のドーパントを含む3つの層まで、一連の二酸化チタン層を次々と上に重ねて与えることである。最も外側の4つの層がドーパントを含むことも好ましく、最も外側の層のみがドーパントを含むことが最も好ましい。

光増感用染料は、ドーピングしたTiO<sub>2</sub>層に塗布するのが好ましい。このような光増感剤は、ルテニウム、オスミウムもしくは鉄錯体、または1つの超分子錯体中の2つもしくは3つの遷移金属の組合せであるのが好ましい。

好ましくは本発明の光電池は、

遷移金属錯体光増感剤で被覆された、好ましくは厚さ0.1~50ミクロンを有する二酸化チタン膜が堆積された導電性の第1プレートと、

TiO<sub>2</sub>コーティングをもたず且つ薄い電解液層によって第1プレートから分離されている伝導性の第2プレートとを含み、少なくとも一方のプレートの可視光（好ましくは太陽光）透過率が60%以上である。

第2プレート（“対極”としても公知である）は薄い電極触媒層（好ましくは厚さ10ミクロン以下）で被覆することもできる。電極触媒の役割は、対極から電解液への電子の移動を容易にすることである。対極になし得る

別の変更は、最初に電解液及び第1プレートを通してその上に到達した光を反射するようにすることである。

光増感剤は二酸化チタンの表面に塗布するのが好ましい。光増感剤は、ルテニウム、オスミウム、鉄遷移金属錯体、またはこれらの組合せから選択されるのがより好ましい。

電解液はレドックス系（電荷移動リレー）を含むのが好ましい。好ましいこのような系としては、ヨウ素/ヨウ素溶液、臭素/臭素溶液、ヒドロキシ溶液、または未結合電子を運搬する遷移金属錯体溶液を挙げることができる。電解液中に存在する電荷移動リレーは電荷を一方の電極から他方の電極へと運搬する。電荷移動リレーは純粋な仲介物質として作用し、電池の作動の間に化学的变化を受けない。本発明の光電池における電解質は、二酸化チタンに塗布された染料が不溶性を示すような有機媒質中に溶解しているのが好ましい。これは、電池が長期安定性を有するという利点を与える。

電解液に好ましい有機溶剤としては、限定的ではないが、水、アルコール及びその混合物、炭酸プロピレン、炭酸エチレン及びメチルピロリドンのような非揮発性溶剤、非揮発性溶剤と例えばアセトニトリル、エチルアセテートまたはテトラヒドロフランのような粘性低下剤との混合物を挙げることができる。別の溶剤としてはジメチルスルホキシドまたはジクロロエタンを挙げることができる。混和性であるならば、上記溶剤の任意の混合内を使用することもできる。

二酸化チタン膜は1より大きい粗度を有する好ましい。但し粗度とは、真の表面積対見掛けの表面積の比と定義される。粗度は10~1000であるのがより好ましく、50~200であるのが最も好ましい。二酸化チタン層は、2つの方法の一方を使用して伝導層の表面上に構築するのが好ましい。1つは、“Stalder and Augustynski, J. Electrochem. Soc. 1979, 126: 2007”及び実施例35に記載の“ゾルーゲル法”であり、もう1つは、実施例35及び37に記載の“コロイド法”である。

本発明の電池の透明プレートに使用するガラスまたはポリマープレートは、プレートが好ましくは60~99%、より好ましくは85~95%の可視光透過率を有するように光透過導電層がその上に堆積された任意の透明ガラスまたはポリマーである。透明伝導層は、10 $\Omega$ /cm<sup>2</sup>以下、好ましくは1~10 $\Omega$ /cm<sup>2</sup>の表面抵抗を有するのが好ましい。本発明の光電池に使用する透明伝導層は約0.8原子%のフッ素をドーピングした二酸化スズでできているのが好ましい。この層を、低コストのソーダ石灰フロートガラスでできた透明基板上に堆積する。このタイプの伝導性ガラスは、Asahi Glass Company, Ltd. 東京、日本からTCOガラスの商品名で入手することができる。透明伝導層は、ガラス基板上に堆積した、酸化スズを5%以下の量でドーピングした酸化インジウムで製造することもできる。これは、BalzersからITOガラスの商品名で入

手することができる。

本発明の光電池は、既存の電池と比較して以下の利点を有する。

1. 通常の太陽電池に匹敵し得る充填係数 (fill factor) を維持しつつ、通常の電池よりも高い開回路電圧を有する。但し充填係数とは、光エネルギー変換に最適な電池電圧における電気出力を開回路電圧と短絡電流の積で除算したものと定義される。高い開回路電圧は、より小さい開回路電圧を有する通常の光電池よりも低い抵抗損で電池を作動することができるので、実用化において極めて重要である。

2. 半導体が光吸収及びキャリア輸送の機能を同時に果たす p-n 接合固相太陽電池とは対照的に、本発明の光電池はこれらの機能を分離している。光は、二酸化チタン膜の表面に付着されている極めて薄い染料層によって吸収され、一方で、電荷キャリア輸送は二酸化チタン膜によって行われる。結果的に、本発明の光電池は多数キャリアデバイスとして動作する。これは、結晶粒界または他のタイプの結晶不規則性または TiO<sub>2</sub> 膜内の不純物及び不規則性のような欠陥が、少数キャリアが電池動作に関与するケースのように電池の効率を下げることはないという利点を有する。通常の太陽電池は少数電荷キャリアで動作し、これは、かかる電池を高度に純粋で且つ規則性である材料から製造する必要があることを意味し、従ってコストがかかる。本発明は安価な太陽電池の開発を可能とする。本発明の電池に使用する全ての材料は増感剤を除いては安価である。しかしながら増感剤は、典型的には 0.3mmol/m<sup>2</sup> ほどの少量でしか使用されず、そのコストは他の成分、例えばガラスプレートに対しては無視し得るほどである。

3. 本発明の電池は多数キャリアデバイスとして動作するということの更なる結果として、電池電圧が入射光の強度に左右される程度は通常の太陽電池よりも小さい。従って、通常の電池の効率が散乱光下または曇天下で急速に低下するのに対して、本発明の電池はかかる条件下で高い効率を維持する。

4. 適当な染料を選択することにより、電池を太陽エネルギー変換に関して最適化することができる。本発明の光電池は高吸収の最適波長を 820nm に有しており、これに対応するエネルギーは 1.5eV である。かかる電池は、シリコンをベースとする電池よりも高い太陽光変換効率を達成し得る。

5. 本発明の光電池は、既に公知の系よりも効率的に散乱光を電気に変換することができる。

6. 好ましい本発明の光電池の更なる利点は、前面、背面または両面から照射し得ることである。光を対極及び電解液を通して TiO<sub>2</sub> 層に付着させた染料に到達させるか、または TiO<sub>2</sub> 層を通して付着染料に到達させることにより照射することができる。染料被覆電極及び対極の両方が透明であるならば、全ての方向からの光を収集すること

ができる。このようにして、直射日光に加えて散乱反射光を収集することができる。このことで太陽電池の総合効率は向上する。

7. 本発明の光電池の更なる利点は、染料を負荷した TiO<sub>2</sub> 層の特殊表面構造及び電気特性によって、対極を作用電極の上に直接置けることである。即ち、短絡の形成を避ける目的で 2 つの電極を離して維持するためにポリマー膜のようなスペーサーを使用する必要がない。染料被覆 TiO<sub>2</sub> 層の誘電性によって、対極と直接接触したとしても、2 つの電極の短絡による急増電流がない。これは、デバイスの構造を単純化してそのコストを下げるが故に、電池の実用化に重要な利点である。

ゾルゲル法においては、最後の 3 つ、最後の 2 つまたは一番上のみの二酸化チタン層を二価または三価金属を用いて 15 重量% 以下の量でドーピングするのが好ましい。しかしながら、純粋なドーパントを極めて薄い最上の酸化層の形態で堆積するのが有利となり得る。後者のケースでは遮断層が形成され、これで、半導体-電解液接合部における電流漏れは防止される。全ての TiO<sub>2</sub> 層は実施例 34 に記載のゾルゲル法によって形成される。堆積する TiO<sub>2</sub> 層の数は 10~11 であるのが好ましい。TiO<sub>2</sub> 膜の全厚は 5~50 ミクロンであるのが好ましい (より好ましくは 10~20 ミクロンである)。

光増感層は、後述する本発明の染料を TiO<sub>2</sub> 層に塗布することにより生成することができる。

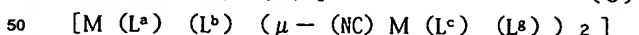
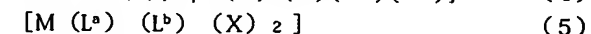
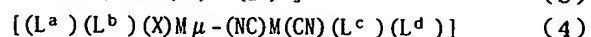
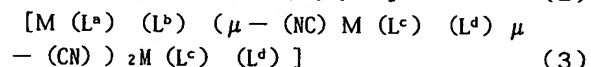
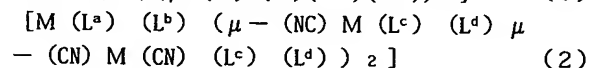
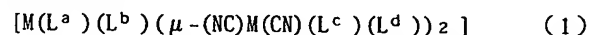
即ち、一連の新規の染料は、有効な光増感剤として作用するように開発されている。

更に本発明によって、配位子が二座、三座または全座 (omnidentate) ポリピリジル化合物である、未置換のまたは置換された遷移金属 (好ましくはルテニウム、オスミウムまたは鉄) 錯体からなる光増感染料が提供される。かかるピリジル化合物の 1 種以上は 1 つ以上のシアノ基を含むのが好ましい。

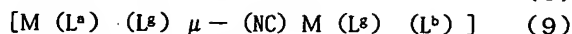
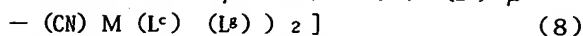
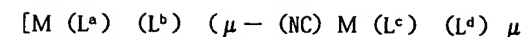
更に本発明によれば、少なくとも 1 つの配位子が単核シアノ含有ピリジル化合物を含む、遷移金属 (好ましくはルテニウム、オスミウムまたは鉄) 錯体からなる光増感染料が提供される。

本発明の光増感染料においては 1 錯体当たり 3 つのルテニウム原子及び 6 つの供与原子があるのが好ましい。

本発明によれば、下記の式 (1) ~ (10) の化合物が提供される：



(7)



〔式中、各Mは独立に、ルテニウム、オスミウムまたは鉄から選択され、 $\mu-(CN)$ または $\mu-(NC)$ は、シアノ基が2つの金属原子を架橋していることを示しており、

$L^a$ 、 $L^b$ 、 $L^c$ 及び $L^d$ の各々は独立に、未置換のまたは1つもしくは2つのCOOH基で置換された2,2'-ビピリジル; $C_{1-16}$ アルキル、 $C_{1-16}$ アルコキシ及びジフェニルから選択される1つまたは2つの基で置換された2,2'-ビピリジル;未置換のまたは1つもしくは2つのカルボキシ基によって置換された2,2'-ビキノリン;未置換の、或いは1つもしくは2つのカルボキシ基及び/または1つもしくは2つのヒドロキシ基及び/または1つもしくは2つのオキシム基で置換されたフェナントロリン;4,7-ジフェニル-1,10-フェナントロリンジスルホン酸;ジアザトリフェニレン、ジアザ-ヒドロキシーカルボキシトリフェニレン(例えば1,12-ジアザトリフェニレンまたは1,12-ジアザ(6-ヒドロキシー7-カルボキシ)トリフェニレン);カルボキシピリジン(例えば2-カルボキシピリジン);フェニルピリジン;2,2'-ビス(ジフェニルホスフィノ)-1,1'-ビナフタレン;(ピリジルアゾ)レゾルシノール(例えば4-(2-ピリジルアゾ)レゾルシノール);ビス(2-ピリジル) $C_{1-4}$ アルカン; $N,N,N',N'$ -テトラ $C_{1-4}$ アルキルエチレンジアミン;及びジ- $C_{1-4}$ アルキルグリオキシム;2,2'-ビイミダゾール;2,2'-ビベンズイミダゾール;2,2'-(2-ピリジル)-N-メチルベンズイミダゾール;2,2'-(2-ピリジル)ベンゾチオゾール;2,2'-(2-ピリジルメチル)ベンズイミダゾールから選択され、

$L^a$ は、(未置換の、または未置換のもしくはCOOHで置換されたフェニル基によって置換された)テルピリジル(例えば2,2',6',2''テルピリジン)及びジカルボキシーピリジン(好ましくは2,6-ジカルボキシーピリジン);2,6-ビス(ベンズイミダゾール-2'-イル)ピリジン;2,6-ビス(N-メチルベンズイミダゾール-2'-イル)ピリジン;2,6-ビス(ベンゾチアゾール-2'-イル)ピリジンから選択され、

各Xは独立に、ハロゲン化物、 $H_2O$ 、 $CN^-$ 、 $NCS^-$ 、アミン(第一級または好ましくは第二級アルキルアミン)及び/またはピリジンである〕。

$L^a$ 及び $L^b$ の一方は、上述のごとき選択される結合基、好ましくは-COOH及び/またはOH及び/または=N-OH及び/または-CO-NH<sub>2</sub>基を有するのが好ましい。

テルピリジルは、置換されている場合には、1つ以上のピリジル基において $C_{1-4}$ アルキル(好ましくはメチ

ル)及び/または $C_{1-16}$ アルコキシ(好ましくはメトキシ)及び/またはカルボキシによって置換されているのが好ましく、例えば2,2',6',2''テルピリジンが好ましい。

$L^a \sim L^d$ におけるフェナントロリンは、5-カルボキシ-6-ヒドロキシー-1,10-フェナントロリン及び5,6-ジオキシム-1,10-フェナントロリンから選択されるのが好ましい。

$L^a \sim L^d$ におけるジアザヒドロキシアカルボキシトリフェニレンは1,12-ジアザ-6-ヒドロキシー7-カルボキシトリフェニレンであるのが好ましい。

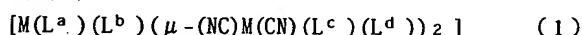
$L^a \sim L^d$ における $C_{1-16}$ アルキル-2,2'-ビピリジルは4- $C_{1-16}$ アルキル-2,2'-ビピリジルであるのが好ましい。

$L^a \sim L^d$ におけるカルボキシピリジンは2-カルボキシピリジンであるのが好ましい。

$L^a \sim L^d$ における(ピリジルアゾ)レゾルシノールは4-(2-ピリジルアゾ)レゾルシノールであるのが好ましい。

本発明の新規の光増感染料は光電池に使用することができる。

式(1):



の化合物は、1モルの式(1a):

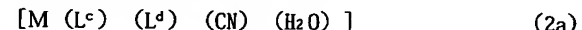


の化合物を、2モルの式(1b):



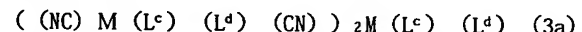
の化合物と常温より高い温度で反応させることにより製造することができる。

式(2)の化合物は、1モルの式(1)の化合物を2モルより僅かに過剰量の式(2a):



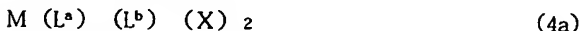
の化合物と常温より高い温度で反応させることにより製造することができる。

式(3)の化合物は、上述の式(1a)の化合物を1モルの式(3a):

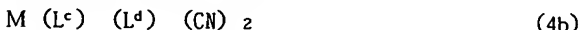


の化合物と常温より高い温度で反応させることにより製造することができる。

式(4)の化合物は、1モルの式(4a):



の化合物の1モルの(4b):



の化合物と反応させることにより製造することができる。

式(5)の化合物は、1モルの式(5a):



の化合物を1モルの $L^a$ 及び1モルの配位子形成化合物 $L^b$ と常温より高い温度で反応させることにより製造することができる。

式(6)の化合物は、1モルの式(6a)：



を1モルより過剰の量の配位子形成化合物 $L^c$ と常温より高い温度で反応させることにより製造することができる。

式(7)の化合物は、1モルの式(7a)：



の化合物を2モルの式(7b)：

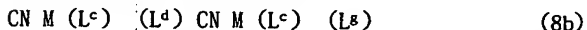


の化合物と常温より高い温度で反応させることにより製造することができる。

式(8)の化合物は、式(8a)：



の化合物を2モルの式(8b)：



の化合物と反応させることにより製造することができる。

式(9)の化合物は、式(9a)：



の化合物を1モルの式(9b)：



の化合物と常温より高い温度で反応させることにより製造することができる。

式(10)の化合物は、1モルの式(10c)：



の化合物を1モルの配位子形成化合物 $L^b$ と常温より高い温度で反応させることにより製造することができる。

更に本発明によって、光電池系に使用するための、ガラス支持体上の透明な $TiO_2$ 層からなる電極が提供される。

かかる透明層は、 $TiO_2$ コロイド溶液をガラス支持体上に分散させることにより製造するのが好ましい。かかる溶液は、 $Ti(OCH(CH_3)_2)_4$ を加水分解することにより調製するのが好ましい。

“透明”なる用語は、入射光の70%、より好ましくは80%がガラスを通過することを意味する。

以下、実施例によって本発明を更に説明する。

#### 実施例 1

配位子2,2'-ビピリジン、4,4'-COOH-2,2'-ビピリジン及び $RuCl_3 \cdot 3H_2O$ はAlfa and Fluka製の市販サンプルである。他の全ての材料は試薬グレードのものであり、更に精製せずに使用した。シス-ジクロロビス(4,4'-COOH-2,2'-ビピリジン) $Ru(II)$ は公知である。

a) シス-ジシアノビス(2,2'-ビピリジン) $Ru(II)$ の合成(前述の式(5)の化合物に関連)

800mg (1.45mmol)のシス-ジクロロビス(2,2'-ビピリジン)を80mlのDMF中に暗所で窒素下に溶解した。これとは別に水に溶解しておいた190mg (2.91mmol)のKCNをこの溶液に加えた。溶液を還流下に3時間加熱した。

反応の間、暗紫色の溶液は橙赤色に変化した。この反応の進行はUV/可視分光光度計によってモニターした。溶液を微細ガラスフリットで過し、液を減圧下に蒸発乾固した。未反応の出発錯体を除去するため、残留物を20mlの水に溶解し、過した。液を再び蒸発乾固した。得られた残留物を15mlのエタノール中に溶解し、微細ガラスフリットで過して、生成物 $KCl$ を定量的に除去した。液に150mlのジエチルエーテルを加えた。濁った溶液を冷蔵庫に2時間入れ、その後、ガラスフリットで過することにより沈澱物を回収した。沈澱物を毎回新たな5mlの2:1エタノールジエチルエーテル混合物で3回洗浄し、次いで無水ジエチルエーテルで洗浄し、真空下に乾燥した。収量0.62g、収率90%。この錯体の純度は元素分析及び蛍光挙動によって調査することができる。

b) シス-ジシアノビス(4,4'-COOH-2,2'-ビピリジン) $Ru(II)$ の合成(前述の式(5)の化合物に関連)

この錯体は、単離ステップ及び精製ステップを除いては上述のものと同様の方法によって製造した。反応物質シス-[ $Ru(4,4'-COOH-2,2'-bpy)_2Cl_2$ ]及びKCNを1:2の比で4時間還流させた後、溶液を冷やし、微細ガラスフリットで過した。液を減圧下に蒸発乾固した。得られた残留物をpH6~7の水に溶解し、所望の錯体を、その等電点がpH2.6の中性塩として単離した。

c)  $Ru(II)$ のシアノ架橋トリマー[ $RuL_2[(CN)_2RuL_2']_2$ ]の合成(前述の式(1)の化合物に関連)

下記の表1に示す錯体は以下のように製造することができる。307mg (0.43mmol)の $RuL_2Cl_2$ を30mlのアルカリ性DMF中に暗所で窒素下に溶解した。この溶液に400mg (0.86mmol)の $RuL'_2(CN)_2$ を加えた。溶液を還流下に6時間加熱し、室温に冷やした。溶液を微細ガラスフリットで過し、液を蒸発乾固した。得られた残留物をpH6~7の水に溶解した。この溶液のpHは3.2に下がり、密な沈澱物が形成された。溶液を冷蔵庫に10時間入れ、その後、ガラスフリットで過することにより沈澱物を回収した。沈澱物を、まず2:5アセトンジメチルエーテル混合物、次いで無水ジエチルエーテルで洗浄し、真空下に乾燥した。収量450mg (69%)。

実施例 2 (前述の式(1)の化合物に関連)

0.86mmolの $Ru(II)L_2(CN)_2$ を使用して実施例1cを繰り返し、表1の実施例2に記載の化合物を製造した。

実施例 3~8

実施例1に従う方法によって、適当な反応物質から下記の表1に記載の化合物を製造することができる。

表 1		
	錯体	L
		L'
1	[ $Ru(L_2((CN)_2Ru(L')_2)_2$ ]	4,4'- (COOH) <sub>2</sub> bpy
		2,2'-bpy

錯体	L	L'
2 $[\text{Ru}(\text{L}_2((\text{CN})_2\text{Ru}(\text{L}')_2)_2]$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> bpy	
3 $[\text{Ru}(\text{L}_2((\text{CN})_2\text{Ru}(\text{L}')_2)_2]$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> bpy	4,4'-(Me) <sub>2</sub> -bpy
4 $[\text{Ru}(\text{L}_2((\text{CN})_2\text{Ru}(\text{L}')_2)_2]$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> bpy	4,4'-(ph) <sub>2</sub> -bpy
5 $[\text{Ru}(\text{L}_2((\text{CN})_2\text{Os}(\text{L}')_2)_2]$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> bpy	2,2'-bpy
6 $\text{RuL}_2(\text{CN})_2$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> bpy	
7 $\text{RuL}_2(\text{CN})_2$	2,2'-bpy	
8 $\text{RuL}_2(\text{CN})_2$	4,4'-(Me) <sub>2</sub> bpy	

但し、"bpy"=2,2'-ビピリジル

"Me"=メチル

"ph"=フェニル

#### 実施例9~33

実施例1と類似の方法によって、適当な反応物質から表2に記載の錯体を製造することができる。

表2中、bpyは2,2'-ビピリジルであり、biqは2,2'-

表  
1つ以上の4,4'-ジカルボキシ-2,2'-ビ  
ピリジン配位子を有するRu錯体のリスト

錯体	L	L'
9 $[\text{RuL}_2]$	4,4',5,5'-(COOH) <sub>4</sub> -2,2'-bpy	—
10 $[\text{RuL}_2]$	3,8-(COOH) <sub>2</sub> -4,7-(OH) <sub>2</sub> phen	—
11 $[\text{RuL}_2]$	6,6'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	—
12 $[\text{RuL}_2, [\text{Ru}^{\text{II}}, \text{Ru}^{\text{III}}]]$	4,4'-(OMe) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	—
13 $[\text{RuL}_2(\text{H}_2\text{O})_2]$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-biq	—
14 $[\text{RuL}_2\text{Cl}_2]$	4,4',5,5'-(COOH) <sub>4</sub> -2,2'-bpy	—
15 $[\text{RuL}_2(\text{CN})_2]$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	—
16 $[\text{RuL}_2\text{L}'(\text{H}_2\text{O})]$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	4-(COOH)ピリジン
17 $[\text{RuL}_2\text{L}'(\text{H}_2\text{O})]$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	3,5-(COOH) <sub>2</sub> ピリジン
18 $[\text{RuL}_2\text{L}'(\text{H}_2\text{O})]$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	ピリジン
19 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	フェニルピリジン
20 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-biq
21 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	4,4'-(フェニル) <sub>2</sub> -2,2'-bpy
22 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	C <sub>12</sub> H <sub>21</sub> -2,2'-bpy
23 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	4,4'-(Me) <sub>2</sub> -2,2'-bpy
24 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	2,2'-bpy	1,10-フェナントロリン-5,6-ジオキシム
25 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	1,2-ビス(2-ピリジル)エタン
26 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	(Me) <sub>4</sub> -エチレンジアミン
27 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	ビナフチル
28 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	3,8-(COOH) <sub>2</sub> -1,2-(OH) <sub>2</sub> phen
29 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	ジメチルグリオキシム
30 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	4,7-(OH) <sub>2</sub> -1,10-phen
31 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	2-アゾピリジルレゾルシノール
32 $[\text{RuL}_2\text{L}']$	4,4'-(フェニル) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	4,4'-(COOH) <sub>2</sub> -2,2'-bpy

ビキノリンであり、phenは1,10-フェナントロリンである。

実施例19においては2-フェニルピリジンを使用し、  
実施例22においては直鎖状及び分枝状アルキル基を使用し、

実施例26においてはN,N-テトラメチル及びC,C-テトラメチルエチレンジアミンを使用し、

実施例27においては2,2'-ビス(ジフェニルホスフィノ)-1,1'-ビナフチレンを使用し、

10 実施例28、30及び31においては1,10-オルトフェナントロリンを使用し、

実施例31においては4-(2-ピリジル)アゾレゾルシノールを使用した。



錯体	L	L'
33 [RuL <sub>2</sub> L']	4,4'-(フェニル) <sub>2</sub> -2,2'-bpy	4,7-(OH) <sub>2</sub> -1,10-phen

実施例1～33の錯体は光増感染料として有効であることが判り、本発明の光電池にそのまま使用することができる。

#### 実施例34

好ましい光電池を図1を参照して示す。

伝導性ガラスに支持されているアルミニウムドーブ二酸化チタン膜の増感に基づく光電デバイスを以下のように製造した。

新たに留出させた21mmolのTiCl<sub>4</sub>を10mlの無水エタノール中に溶解することにより、有機二酸化チタン前駆体のストック溶液を調製した。エタノール溶液中のTiCl<sub>4</sub>は自発的にチタンアルコキシドを与え、これを加水分解してTiO<sub>2</sub>を得た。次いでストック溶液を更なる無水エタノールで希釈して、チタン含有量がそれぞれ25mg/ml

(溶液A)及び50mg/ml(溶液B)の2種類の溶液を得た。アルミニウム含有量が1.25mg/mlになるまでAlCl<sub>3</sub>を加えることにより、溶液Bから第3の溶液(溶液C)を調製した。Asahi Inc.日本提供の表面積10cm<sup>2</sup>、可視光透過率85%以上及び表面抵抗10Ω/cm<sup>2</sup>以下の伝導性ガラスシートを堆積TiO<sub>2</sub>層の支持体として使用した。ガラスは、使用前にアルコールで洗浄した。溶液Aの小滴を伝導性ガラスの表面に広げて薄いコーティングをつくった。次いで層を、湿度を平衡飽和水蒸気圧の48%に維持した特別チャンバ内で28℃で30分間加水分解した。次いで、450℃に維持した管状オープン内の空気中で電極を加熱したが、これは、オープンの入口で5分間予熱してから中で15分間加熱した。同様にして更に3つの層を作製した。次いで、溶液Bを使用して5つのより厚い層を堆積した。第1の層と同じ工程を使用した。最後に溶液Cを使用して、アルミニウムドーパントを含む最後の2つの層を堆積した。管状オープン内での最後の層の加熱

$$(1) \text{ IPCE}(\%) = \frac{[(1.24 \times 10^{-3}) \times \text{光電流密度}(\mu\text{A}/\text{cm}^2)]}{[\text{波長}(\text{nm}) \times \text{光子束}(\text{W}/\text{m}^2)]}$$

から導出した。光電流作用スペクトルと太陽放射の重なりから、太陽光からの電気への変換の総合効率ηは、式：

$$(2) \eta = 12 \times \text{OCV} \times \text{FF}(\%)$$

〔式中、OCVは開回路電圧であり、FFは光電池の充填係数である〕

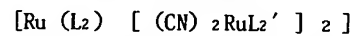
で計算される。

式2の実験的検証のため、透明な伝導性二酸化スズ層(6)とホトアノード(photoanode)としてのガラス基板(7)とからなる伝導性ガラス(作用電極)に支持された、染料(4)を負荷したTiO<sub>2</sub>(5)膜を使用し、添付を図面に示した光電池を構築した。この電池はサンド

は15分間から30分間に延長した。二酸化チタン膜の全厚は10～20ミクロンである。

染料を堆積する前に、フィルムを99.997%の高度精製アルゴン中で焼結処理した。適当な継目を有する石英管からなる水平管状オープンを使用した。TiO<sub>2</sub>膜を有するガラスシートを挿入した後、管を2回排気し、アルゴンでパージした。次いでガラスシートを、流量2.5リットル/時間のアルゴン還流下で温度勾配を500℃/時間として550℃まで加熱し、この温度に35分間維持した。この処理によって、表面粗度が80～200の鋭錐石膜が生成された。

連続アルゴン流下に冷却した後、ガラスシートを直ちに発色団のアルコール溶液に移した。使用した発色団はトリマールテニウム錯体：



〔式中、Lは2,2'-ビピリジル-4,4'-ジカルボン酸であり、L'は2,2'-ビピリジルである〕

であり、無水エタノール中のその濃度は5×10<sup>-4</sup>Mであった。電極表面にヒドロキシル基が存在すると染料の取込みを妨げるが故にTiO<sub>2</sub>表面のヒドロキシル化を防ぐため、染料吸着前に膜を周囲の空気中に長時間暴露するのは避けた。発色団をエタノール溶液から30分間吸着させ、次いで、ガラスシートを取り出し、無水エタノールで簡単に洗浄した。シート上のTiO<sub>2</sub>層は、発色団コーティングのために深紅色となった。

0.5M LiI及び3×10<sup>-3</sup>Mヨウ素のエタノール溶液を含む通常の3極電気化学セルを使用し、このような膜を用いて得られる光電流(photocurrent)作用スペクトルを、太陽光放射のAMIスペクトル分布と一緒に添付の図面に示す。入射単色光子から電流への変換効率(IPCE)を励起波長の関数としてプロットした。これは、式：

$$[\text{波長}(\text{nm}) \times \text{光子束}(\text{W}/\text{m}^2)]$$

イッチ様の構造を有しており、作用電極(4～7)は、厚さ約20ミクロンを有する薄い電解液層(13)によって対極(1,2)から分離されている。使用した電解液は0.5M LiI及び3×10<sup>-3</sup>Mヨウ素のエタノール溶液であった。電解液(3)は、電池の側部に取り付けられた小さな円筒形の溜め(図示なし)内に入れられており、そこから毛管作用によって電極間のスペースに引き込まれる。対極は、やはりAsahi伝導性ガラスでできているガラス基板(1)上に堆積されている伝導性二酸化スズ層(2)からなり、作用電極の上に直接置かれている。ヘキサクロロプラチネート水溶液で電気めっきすることにより、透明なプラチナ単分子層を対極(1,2)の伝導性ガラス



上に堆積した。プラチナの役割は、対極におけるヨウ素の電気化学還元を増強することである。対極が透明であるのは、前方及び後方の両方向から光を収集できるため、光電用途に有利である。AM1太陽照射をシミュレートするための適当なフィルターを備えた高圧キセノンランプを用いて実験を実施した。光の強度は50~600ワット/㎡の範囲で変えることができ、開回路電圧はかかる2つの電圧においてそれぞれ660及び800mVであった。電池の最大電気出力を、開回路電圧と短絡電流の積で除算したものと定義される充填係数は0.7~0.75Vであった。単結晶シリコン電池は600W/㎡の入射光強度においては550mVの開回路電圧を与えたが、50W/㎡においては300mV以下にまで降下した。これは明らかに、本発明の電池がシリコン太陽電池よりも高い開回路電圧を有し、しかも開回路電圧がシリコン電池よりも光の強度に依存しないことを示している。このことは、このような電池を非直射日光または曇天条件下で使用するのにかなり有利である。シリコン電流の充填係数は本実施例のそれと同じ程度である。本実施例の電池の太陽光から電気への全変換効率率は、式2の推定量と一致して5~6%である。

#### 実施例35

伝導性ガラス支持体上に堆積して焼結すると高度に多孔質の干渉性半導体膜を与える二酸化チタンコロイド粒子から透明なTiO<sub>2</sub>を得た。この膜は透明であって、実施例34のTiO<sub>2</sub>層膜の代わりに使用し得る。

チタンイソプロポキシドを以下のように加水分解することにより、約10nmの酸化チタンコロイド粒子を調製した：

125mlのチタンイソプロポキシドを、750mlの水中に0.1M硝酸を含む溶液に攪拌しながら加えた。かかる条件下で非晶質二酸化チタンの沈澱物が形成された。これを激しく攪拌しながら約8時間で80℃にまで加熱すると、沈澱物のペプチゼーションが起こり、鋭錐石の透明コロイド溶液が形成された。二酸化チタン粒子の鋭錐石構造はレーマン分光法によって立証された。溶剤を室温で真空中に、コロイド粒子を含む粘性液体が得られるまで蒸発させることにより、ゾルを濃縮した。この時点で、基板に塗布したときの膜のひび割れを少なくするため、非イオン性界面活性剤TRITON X-100 (TiO<sub>2</sub>の40重量%)を加えた。

二酸化チタン膜は、濃縮ゾルを伝導性ガラス基板上にスピンコーティング (spin coating) することにより形成した。増感剤の単層を堆積した後に優れた可視光収集効率を与えるのに十分な表面積の半導体膜を得るためには、通常は6~10の層を塗布すれば十分である。

低分解能電子顕微鏡調査により、一番下の層がガラス支持体であり、次が厚さ0.5ミクロンのフッ素ドーパSnO<sub>2</sub>であり、最後が厚さ2.7ミクロンの二酸化チタン層である3層構造の存在が確認された。高分解能電子顕微鏡調査からは、TiO<sub>2</sub>膜は、平均粒径約16nmを有する相互に連

結した粒子の3次元網構造からなることが明らかとなった。焼結の間に著しい粒子の成長が生じたことは明らかである。

増感剤RuL<sub>3</sub> (ここでLは2,2'-ビピリジル-4,4'-ジカルボン酸である) 再生電池と一緒に、透明なTiO<sub>2</sub>膜の可視光からの電気生成について試験した。結果は、シミュレート日光 (強度約30W/㎡) 下の光電流を電池電圧の関数としてプロットして表わすことができる。かかる条件下での開回路電圧は0.52Vであり、短絡電流は0.381mA/cm<sup>2</sup>であった。充填係数は0.75であって、効率5%を与えた。同じ条件下で市販のシリコン光電池は短絡電流1mA、開回路電圧0.4V及び変換効率10%を与え、交換効率のみが、二酸化チタン膜を用いて得られるよりも2倍高いファクタであった。

#### 実施例36

寸法2×9.6cm<sup>2</sup>を有する伝導性ガラスシート (ASAHI I) (表面抵抗約10Ω/cm<sup>2</sup>) を、実施例35の方法に従ってコロイド状二酸化チタン膜で被覆した。全部で7つのTiO<sub>2</sub>コロイド層をスピンコーティングによって順次堆積したが、その度膜を500℃で30分間焼した。膜のひび割れを防ぐために、30% (w/w) のTRITON X405界面活性剤を加えた。

二酸化チタン膜の最終的な厚さは、光学干渉パターンから判定したところ5ミクロンであった。TiO<sub>2</sub>堆積後の伝導性ガラスシートは透明のままであり、可視光及び近赤外光に対して透過性であったことに留意することは重要である。通常の分光光度計に記録された透過スペクトルは、400~900nmの波長域にある可視光の60%以上のフラクションが膜を通過したことを示した。電極のUV/可視光吸収スペクトルを得ることもできる。伝導性ガラス及び厚さ5nmのTiO<sub>2</sub>層による光の吸収及び散乱のため、可視光に平坦特性 (flat feature) が認められた。400nm以下の吸収の急増部分は、TiO<sub>2</sub>のバンドギャップ吸収に起因するものである。

染料で被覆する直前に、膜を500℃で1時間火仕上げ (fire) した。TiO<sub>2</sub>を染料で被覆するのは、トリマールテニウム錯体RuL<sub>2</sub> (CNRuL'<sub>2</sub>CN)<sub>2</sub> [ここでLは2,2'-ビピリジル-4,4'-カルボキシレートであり、L'は2,2'-ビピリジルである] を含むエタノール溶液中にガラスシートを16時間浸漬することにより行なった。被覆後、ガラスシートは濃い深紅色に変色した。通常のUV/可視光分光光度計で測定した光吸収スペクトルは、500nm近傍で価2を越える吸収を示し、これは、この波長域において99%以上の光子が、二酸化チタン膜上に堆積された染料によって吸収されたことを示している。染料の濃度が高いので多孔質膜は400~750nmの極めて広いスペクトル範囲で光子を収集し得たことに留意することが重要である。

染料堆積後、ガラスシートを、各々が寸法約9cm<sup>2</sup>を有する2つの部分に切断した。これらのシートは、その組立

ては後述するモジュールにおいて作用電極（ホトアノード）として作用する。

透明な対極は、作用電極と同じタイプのASAHI伝導性ガラスで製造した。対極は $\text{TiO}_2$ で被覆しなかった。その代わりに、10個のプラチナ単層の等価物を伝導性ガラス上に電気化学的に堆積した。対極の透明性はプラチナの堆積によって影響されず、可視光及び近赤外光におけるその透過率は60%以上を維持した。プラチナは電極触媒として作用し、対極における電子移動仲介物質、即ち三ヨウ化物の還元速度を増大する。ガラスシートの縁部近くの対極の表面内に、深さ約1mm、幅約1.5mm及び長さ約20mmの2つのくぼみを設けた。これらは電解液溜めとして作用する。

対極は、サンドイッチ様構造を与えるように作用電極の直ぐ上に置いた。溜めに電解液を充填した後、電池をエポキシ樹脂で封止した。2つの電極間のスペースは毛管作用により電解液によって自発的に湿潤化した。電解液は、エタノール中に0.5Mテトラプロピルアンモニウムヨウ化物及び0.02Mヨウ素を含む溶液であった。

このようにして、各々が表面積約 $9\text{cm}^2$ を有する2つの電池を製造した。次いでこれらを、一方の電極のホトアノードを第2の電池のカソードに電気的に接続することにより直列に接続した。このようにして、全表面積 $18\text{cm}^2$ を有すモジュールを製造した。

このモジュールの性能は、波長520nm及び強度 $0.38\text{W}/\text{m}^2$ の単色光を基準にして示すことができる。0.115mAの短絡光電流は、入射単色光子から電流への変換効率74%に対応した。充填係数は0.74であり、単色電力変換効率は520nmにおいて12%であった。

自然光条件下で結果を出すこともできる。全入射光強度は約 $3\text{W}/\text{m}^2$ であった。かかる条件下でモジュールの短絡光電流は0.76mAであり、電池の充填係数は0.73であり、昼光から電力への全変換効率は11%であった。比較すると、同じ条件下で寸 $1\text{cm}^3$ の市販シリコン電池は、短絡光電流0.17mA、開回路電圧0.21V、充填係数0.5、及び全変換効率6%を示した。上記結果を比較すると、散乱昼光下での $\text{TiO}_2$ 電池の性能は通常のシリコンデバイスよりも優れていることが明らかに判る。翌日の早朝に直射日光下で最終試験を実施した。約 $600\text{W}/\text{m}^2$ の太陽強度において出力電流は60mAであり、開回路電位は1.5Vであった。電池の充填係数は伝導性ガラス中の抵抗損のために0.6に低下し、総合効率は5.6%となった。

#### 実施例37

この好ましい光電池を図1を参照して示す。

透明な $\text{TiO}_2$ 膜の増感に基づく光電素子は、伝導性ガラス支持体上に堆積し焼結すると高度に多孔質の干渉性半導体膜を与える二酸化チタンコロイド粒子から製造した。

チタンイソプロポキシドを以下のように加水分解することにより、約8nmの二酸化チタンコロイド粒子を調製

した。

125mlのチタンイソプロポキシドを、750mlの水に0.1M硝酸を含む溶液に攪拌しながら加えた。かかる条件下で非晶質二酸化チタンの沈澱物が形成された。これを激しく攪拌しながら約8時間で80℃にまで加熱すると、沈澱物のペプチゼーションが起こり、鋭錐石の透明コロイド溶液が形成された。加水分解によって形成されたプロパノール加熱の間に蒸発した。次いでコロイド溶液を、チタン金属またはテフロン製の圧力容器内で140～250℃、好ましくは200℃で2～20時間、好ましくは16時間オートクレーブ処理した。幾分かの沈澱物を含む得られたゾルを攪拌または振盪して沈澱物を再懸濁させた。得られたゾルから再懸濁しなかった沈澱物を除き、溶剤を室温で真空下に、コロイド粒子を含む粘性液体が得られるまで蒸発することにより、ゾルを濃縮した。この時点の典型的な濃度は200g/リットルである。この時点で、ひび割れせずに堆積する層の厚さを増大するために例えばUnion Carbide Carbowax 20MまたはTriton X-405のようなポリエチレンオキシドポリマーを加えることができる。ポリマーは、 $\text{TiO}_2$ の30～50、好ましくは40重量%の量で加える。

増感用電極はコロイド溶液から以下のように形成した：

適当な基板、例えばAsahi Corp.製の伝導性酸化スズ被覆ガラス（チタン金属または任意の平坦な伝導性表面）の例えば $3 \times 6\text{cm}$ の断片を伝導性表面を上向きにして起き、適当なスペーサー、例えば厚さ50～100ミクロン、好ましくは80ミクロンのプラスチックテープを各縁に沿って取り付け付けた。適量のゾル、好ましくは上記基板に対しては200g/リットルの $\text{TiO}_2$ 及び40%Carbowax 20Mを含む $150\mu\text{l}$ のゾルを基板の一方の端部に沿ってピペットで添加した。ゾルを、その端部がスペーサーに載っている縁が平らなガラス片を用いて引きのぼすことにより基板上に広げた。即ち、スペーサー、ゾルの粘度及びゾルの濃度によって堆積される $\text{TiO}_2$ の量が制御される。このように広げた膜を空气中で、目視で乾燥していると思われるまで乾燥し、好ましくは更に20分間乾燥した。乾燥後、電極を400～500℃、好ましくは450℃で20分間火仕上げした。170℃以下でオートクレーブ処理したゾルの場合には、40ミクロンより小さいスペーサーを使用せねばならず、厚さ8～10ミクロンの $\text{TiO}_2$ 膜を得るためには上記工程を2回繰り返さねばならない。

上記方法により、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ までの電極を製造した。更に、スピンコーティング及び浸漬コーティングによってゾルを基板に塗布することもできる。

次いで電極は、通常のガラス切断技術によって所望の寸法に切断することができる。増感剤を塗布する直前に、電極を再び450～550℃、好ましくは500℃で2～12時間、好ましくは6時間火仕上げした。ある種の溶剤及び染料の組合せにおいては、電極を500℃で2～6時間

火仕上げし、各火仕上げの間には、空气中に10時間または水、0.5M硝酸もしくは0.5M HCl中に最高で1時間浸漬することを5~10回、好ましくは7回繰り返すことにより、電極表面が改善される。使用前に、酸性溶液は溶解TiO<sub>2</sub>で飽和した。最後の加熱の後で冷却の直前に、電極を増感剤溶液の中に入れた。トリマールテニウム錯体RuL<sub>2</sub>(CNRuL'<sub>2</sub>CN)<sub>2</sub>〔ここでLは2,2'-ビピリジル-4,4'-ジカルボキシレートであり、L'は2,2'-ビピリジルである〕を含むエタノール溶液が好ましいが、RuL<sub>2</sub>NCS<sub>2</sub>またはRuLiL'<sub>1</sub>H<sub>2</sub>O〔ここでL'は2,6-ビス(N-メチルベンズイミダゾール-2'-イル)ピリジンである〕のエタノール溶液も同等に好ましい。増感剤に従って、電極が完全呈色するには4~24時間が必要である。完全呈色は、目視によってまたは種々の時点の染料の可視光透過スペクトルをとることにより測定することができる。

染料溶液から取り出した後、以下のように電極から光電池を製造した。

透明な対極は作用電極と同じタイプのASAHI伝導性ガラスで製造した。対極はTiO<sub>2</sub>で被覆しなかった。その代わりに、10個のプラチナ単層の等価物を伝導性ガラス上に電気化学的に堆積した。対極の透明性はプラチナの堆積によって影響されず、可視光及び近赤外光におけるその透過率は60%以上を維持した。プラチナは電極触媒として作用し、対極における電子移動仲介物質、即ち三ヨウ化物の還元速度を増大する。或いは、上述のごとくPtで被覆した場合によっては多孔質の薄いチタンシートを対極として使用することもできる。多孔質シートの場合には、プラスチック、ガラスまたは金属のような不透過

性材料の別のシートが対極の背後に必要とされる。

ガラスシートの縁部近くの対極の表面内に、深さ約1mm、幅約1.5mm及び長さ約20mmの2つのくぼみを彫り込むことにより、電解液溜めを設けた。この溜めはガラスシートの外部に加えることもできるし、多孔質対極の場合には対極の背後に置くこともできる。

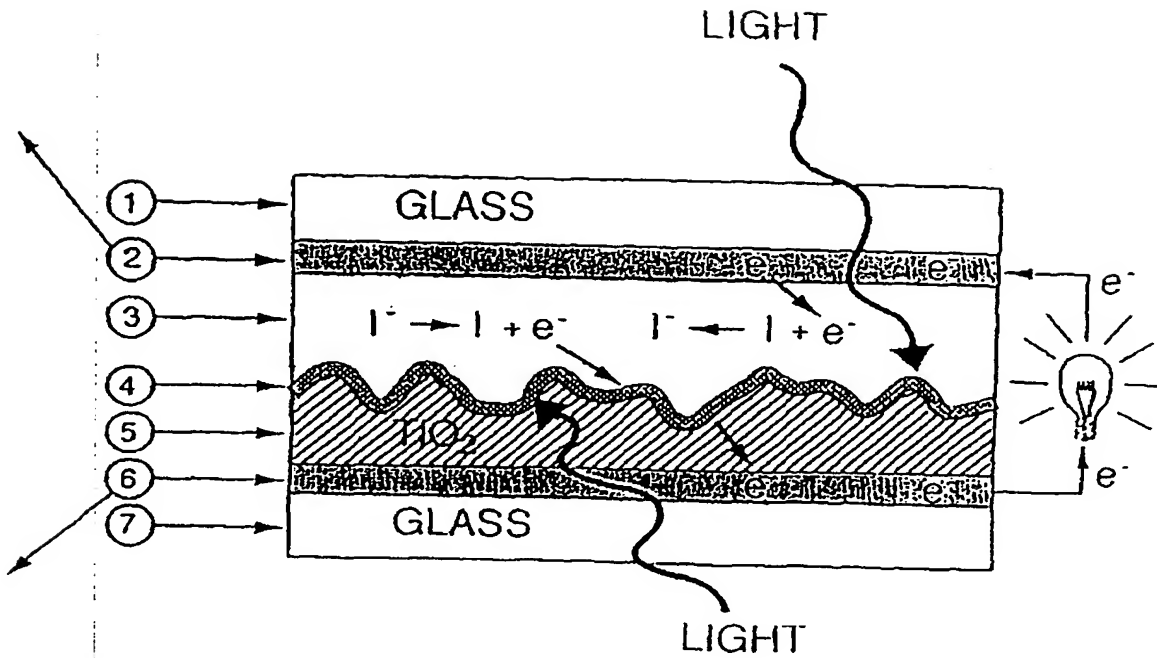
対極は、サンドイッチ様構造を与えるように作用電極の直ぐ上に置いた。溜めには、前述のものから選択された電解液、好ましくは85重量%の炭酸エチレン、15%の炭酸プロピレン、0.5Mヨウ化カリウム及び40mMヨウ素を充填した。所望の電圧に従う量のLiIまたはテトラアルキルアンモニウムヨウジドを存在させることもできる

(好ましくは20mM)。電池は、選択した溶剤と相溶性のシーラントで縁に沿って封止し、接着剤で密着させた。シーラント及び接着剤は同じ材料、例えばアルコール溶剤の場合にはシリコン接着剤、または炭酸エチレンの場合にはポリエチレン及びエポキシ樹脂(または機械的閉鎖)とすることができる。2つの電極間のスペースは毛管作用により溜めに注入した電解液によって自発的に湿潤化した。

前述のタイプの光電池は、シミュレート日光80mW/cm<sup>2</sup>のもとで最高12mA/cm<sup>2</sup>の短絡電流及び最高830mVの開回路電圧を生成した。最も効率的な組合せは9.6mA/cm<sup>2</sup>及び620mVであって、このときの充填係数は50%、エネルギー変換効率率は3.8%であった。60%以上の充填係数が測定された。

実施例34~37のルテニウム錯体に代えて実施例1~33の他の実施例の錯体を光電池に使用することもできる。

【第1図】



フロントページの続き

(72)発明者 オリーガン, ブアイアン  
 スイス国、ツエー・ハー—1800・ブペー、  
 シュマン・デ・シトル・4

(56)参考文献 特開 平1-220380 (J P, A)  
 特開 昭60-12682 (J P, A)  
 特開 昭59-98480 (J P, A)  
 特開 昭57-195241 (J P, A)  
 実開 昭61-502402 (J P, U)  
 米国特許4117210 (U S, A)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**